

УТВЕРЖДАЮ



26 » октября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Аккуратова Валентина Ивановича

«Исследование деформационного поведения кристаллов
рентгенодифракционными методами при воздействии механических нагрузок»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.20. - «кристаллография, физика кристаллов».

Диссертационная работа Аккуратова В.И. посвящена развитию аппаратно-
методической базы для структурных исследований монокристаллов в условиях
воздействия статических и динамических механических нагрузок при помощи
рентгеновского и синхротронного излучения в режиме реального времени.

Кристаллические материалы играют решающую роль для развития микро- и
оптоэлектронной промышленности, являясь основой разнообразных устройств микро- и
nanoэлектроники, фотоники, сенсоров. В процессе изготовления и эксплуатации эти
устройства подвергаются разнообразным механическим воздействиям: вибрациям,
ударным нагрузкам, одноосному и гидростатическому сжатию, что может привести к
возникновению дефектов и потере работоспособности. Лабораторные рентгеновские
приборы и методы вполне подходят для решения многих из этих задач. Изучению
поведения кристаллической структуры в условиях статических внешних воздействий с
использованием рентгеновской дифрактометрия посвящено большое количество
исследований. Следует отметить, что процессы разрушения в реальных условиях могут
происходить медленно и требуют длительного процесса наблюдений. В этой связи
актуальна разработка новых методов тестирования, ускоряющих процессы деградации, а
также новых высокоскоростных методов наблюдения разрушения кристаллов,
используемых в электронике, лазерных и акустооптических системах. Соответственно,
разработка динамических методов рентгеновской дифрактометрии для изучения
поведения кристаллов под действием статических и динамических нагрузок является
актуальной проблемой. Более того, предлагаемый подход является обоснованным
выбором, поскольку является бесконтактным, прецизионным и неразрушающим, а также
позволяет проводить *in situ* измерения с временным разрешением.

Таким образом, диссертация Аккуратова В.И. имеет как фундаментальное значение, так и прикладное - для применения на лабораторных и синхротронных источниках.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертация Аккуратова В.И. состоит из Введения, пяти глав, Заключения, Выводов и Списка публикаций и цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 140 страниц, включая 51 рисунок, 5 таблиц и список литературы из 149 наименований.

Введение посвящено обоснованию актуальности выбранной научной темы, а также формулированию цели и задач диссертационной работы. Здесь же приведена информация о научной новизне и практической значимости диссертации.

Глава 1 включает в себя обзор литературы по теме исследования и состоит из трех частей. Первая часть посвящена описанию механических свойств кристаллов и методов их. Вторая часть посвящена методам рентгеновской дифрактометрии, используемым для изучения совершенства структуры монокристаллов в различных условиях, включая внешние воздействия. В третьей части представлено описание конструкции и принципов работы рентгеновской оптики на изгибной моде колебаний, применяемой для времязаржающей рентгеновской дифрактометрии кристаллов.

Глава 2 посвящена разработке аппаратуры и нового метода для быстрых рентгенодифракционных измерений, основанной на применении рентгеновской оптики. Предложенный метод позволяет проводить картирование обратного пространства кристаллов с помощью синхронного сканирования двумя рентгенооптическими элементами оптики. Приведены результаты тестирования метода на совершенном кристалле кремния. Проведено сравнение с классическим, гониометрическим способом измерений.

В главе 3 описана разработка методов двухкристальной и трехкристальной дифрактометрии с временным разрешением. Представлены характеристики электромеханической системы для ультразвукового вибрационного воздействия на монокристаллы. Исследована динамика кристаллов фторида лития и кварца в условиях вибрационной нагрузки.

В главе 4 разработанные методы двухкристальной и трехкристальной дифрактометрии применены для исследования кристаллов кварца, парателлурита и фторида лития в условиях одноосного сжатия. Описан способ сжатия монокристаллов с использованием компактного гидравлического пресса, встраиваемого в дифрактометр.

В главе 5 описано исследование структурных изменений в кристаллах триглицинсульфата в условиях одноосного сжатия с использованием методов

рентгеновской дифрактометрии. Описан наблюдаемый эффект необычного деформационного поведения при сжатии в кристаллографическом направлении [100].

В Заключении изложена обобщенные сведения о проведенных исследованиях, а в Выводах приведены основные результаты работы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Научная новизна работы отражена в следующих положениях.

1. Предложен метод одновременного использования двух элементов рентгеновской оптики в трехкристальной схеме дифракции при исследовании структурных процессов с временным разрешением в кристаллах и продемонстрирована ее эффективность. Проведено сравнение экспериментальных данных, полученных посредством разработанного метода и с помощью традиционной рентгеновской дифрактометрии в идентичных условиях, и показано, что первый позволяет строить карты обратного пространства быстрее и с большей точностью.

2. Развиты новые методы рентгеновской дифрактометрии высокого разрешения на основе элементов рентгеновской оптики для исследования кристаллических материалов в условиях механического одноосного сжатия и вибрационной нагрузки *in situ*. Методы реализованы и протестированы.

Исследовано деформационное поведение монокристалла кварца при возбуждении ультразвуковых колебаний, и эволюция деформационных изменений в условиях упругого одноосного сжатия.

3. Изучена динамика локальных деформаций кристаллов триглицинсульфата при одноосном сжатии до 3,5 МПа. Выявлено образование аномально в лабораторных условиях большой изгибной деформации при сжатии вдоль направления [100].

Практическая значимость заключается в создании методов и технических средств, позволяющих в лабораторных условиях проводить прецизионную диагностику кристаллических материалов при приложении статических и динамических механических нагрузок.

Достоверность представленных в работе результатов подтверждается эффективным использованием современного экспериментального оборудования и адекватного программного обеспечения, наличием публикаций в рецензируемых научных изданиях и докладами на национальных и международных конференциях.

Личный вклад автора заключается в следующем. Разработана система управления и модернизирован трехкристальный дифрактометр для проведения времязарезающих исследований. Все представленные в работе исследования проводились автором лично

или при его непосредственном участии. Планирование работ, подготовка образцов, обработка и обсуждение результатов, и их интерпретация проводились автором совместно с научным руководителем и соавторами публикаций. Автор представлял результаты работы на российских и международных конференциях. Все публикации были написаны или автором лично или при его непосредственном участии.

Замечания

1. Используемый в работе термин «адаптивный элемент» представляется не совсем точным, поскольку он применим к автоматически настраивающимся объектам, корректирующим свои параметры при изменении условий. Более точным являлось бы использование термина «управляемый элемент».

2. В выносимых на защиту Положениях 3-5 заявлены «динамика поведения кристаллов», «динамика параметров кристаллов», «динамика деформаций кристаллов», как полученные оригинальные научные результаты. Из формулировок положений не ясно, чем вызвано различие использованных терминов и в чем заключается важность каждого из этих результатов для науки и техники.

3. В пункте 1 раздела «Научная новизна» сказано: «Новая методика позволяет регистрировать карты обратного пространства быстрее и с большей точностью». К сожалению, большинство результатов диссертации не сопровождается указанием погрешности соответствующих измерений.

4. В диссертации не конкретизировано, какие типы дефектов кристаллической решетки могут быть обнаружены с помощью разработанных кристаллографических методов и аппаратуры.

Следует также добавить, что представленные методы анализа структурных изменений в кристаллах реализованы для лабораторных условий и позволяют исследовать кристаллические элементы перед их практическим использованием. В то же время наибольший практический интерес представляют методы, применимые в натурных условиях эксплуатации: после установки в механические оправы; при неравномерности нагрева, вызванного ультразвуковыми пучками; при воздействии вибраций и других факторов, вызывающих дефектообразование и выход из строя самих кристаллов и устройств на их основе. Целесообразно было бы оценить возможность развития описанных в диссертации подходов для использования в условиях реальной эксплуатации кристаллических элементов и устройств.

Общее заключение о работе

Указанные замечания не влияют на положительную оценку работы диссертанта. Диссертационная работа Аккуратова В.И. написана четким, понятным языком, и содержит большое количество ссылок на литературные источники по теме работы. Результаты, включенные в данную диссертационную работу, были представлены в 6 статьях в рецензируемых журналах и в 26 устных и стеновых докладах на профильных российских и международных конференциях. В целом, диссертация Аккуратова В.И. представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

Диссидентом предложены и реализованы новые аппаратные и методические решения для времязразрешающих рентгенодифракционных измерений, а также получены новые практически важные данные по динамике поведения кристаллов кварца, парателлурита, фторида лития и триглицинсульфата под действием одноосного механического сжатия и ультразвуковой вибрационной нагрузки.

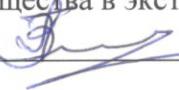
Диссертационная работа Аккуратова В.И. полностью удовлетворяет всем требованиям, установленным разделом II «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.20 – «кристаллография, физика кристаллов», а ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени.

Доклад по работе Аккуратова В.И. был заслушан и обсужден 27 сентября 2023 г. на семинаре по акустической и оптической спектроскопии в НТЦ УП РАН. Отзыв на диссертацию Аккуратова В.И. был рассмотрен и утвержден на заседании Ученого совета НТЦ УП РАН (Протокол №54 от 26 октября 2023 год: всего членов Ученого совета - 9, присутствовало - 9, результаты голосования: «За» - 9, «Против» - 0, «Воздержались» - 0.)

Даем согласие на обработку персональных данных.

Отзыв составили:

Заведующий отделом акустооптических информационных систем,
д.ф.-м.н., Пожар Витольд Эдуардович _____
01.04.01 - Приборы и методы экспериментальной физики 

Заведующий лабораторией спектроскопии вещества в экстремальных условиях,
к.ф.-м.н. Зинин Павел Валентинович _____
03.00.02 - Биофизика 

«26» октября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-технологический центр уникального приборостроения Российской академии наук, НТЦ УП РАН
Почтовый адрес: 117342, Москва, улица Бутлерова, 15
Электронная почта: np@ntcup.ru Официальный сайт: <https://ntcup.ru/>
Телефон: +7 (495) 333-61-02